

气动优化设计及其对CFD的需求*

Aerodynamic Optimzation Design and Its Requirement to CFD

许瑞飞 邓一菊 钱瑞战 / 中航工业第一飞机设计研究院

摘 要: 本文简要介绍了当前气动优化设计发展的情况, 并说明了气动优化设计与计算流体力学(CFD)的关系, 最后指出了气动优化设计对CFD的需求, 为CFD的进一步发展提供参考。

关键词: 气动优化设计; CFD

Keywords: aerodynamic optimization design; CFD

0 引言

飞机设计是一项复杂的系统工程, 涉及总体气动、结构、强度、系统、发动机等众多领域。飞机气动设计决定了飞机的气动性能, 对飞机最终的速度、航程和载重等方面都有着非常重要的影响。如何在较短时间内高质量地完成飞机气动设计是摆在设计师面前的一项重要课题。要解决这一问题, 需要

对原有的设计手段进行革新。计算流体力学(CFD)的出现和发展及其在飞机气动设计领域的应用较好地解决了这一难题。

随着CFD的发展, 它已经从飞机的气动特性计算发展到飞机几何外形的设计, 从进行简单的翼型设计发展到参与全机复杂几何外形的设计, 其应用领域和范围在不断扩展, 同时也取得了较好的经济效益。例如, 20世纪70年代美国Northrop公司研发YF-17用了8年时间, 进行了13500小时的风洞试验, 研制中很少用CFD, 而在1986年前后设计具有更复杂气动外形的YF-23时, 由于CFD的使用, 只进行了5500小时的风洞试验, 大

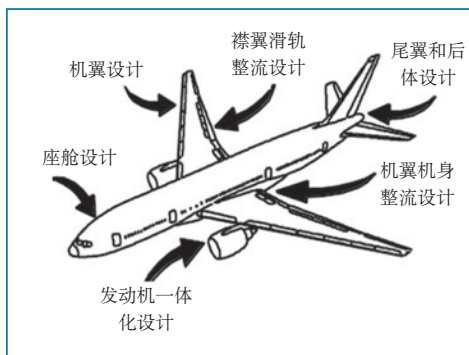


图1 CFD在波音777飞机上参与部件设计的示意图

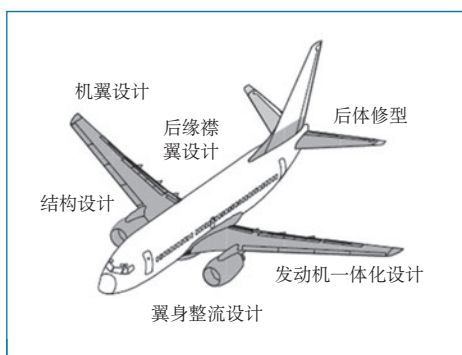


图2 CFD在波音737飞机上参与部件设计的示意图

大降低了飞机的研制费用, 并获得了较好的经济效益^[1]。在波音777飞机的研发过程中, CFD获得了广泛的应用, 如图1所示, 包括驾驶舱设计、机翼设计、机翼-机身连接部件设计、襟翼滑轨整流设计、垂尾和后体机身设计等。在波音737飞机的设计过程中, CFD参与了有约束的机翼设计、后缘襟翼设计、发动机一体化设计、后体修型、翼身整流设计等^[2], 如图2所示。

随着CFD的不断发展和在飞机设计领域的深入应用, 气动设计也从单纯依靠风洞试验与设计师经验修型设计相结合的设计方法转变为基于CFD的优化设计方法与传统方法相结合的设计方法, 使飞机设计周期大幅缩减, 提高了飞机方案设计的效率, 同时也节省了大量的人力、物力和财力。

1 气动优化设计

从时间上来看, 气动优化设计方法可简单分为传统优化和现代优化两种设计方法。传统优化设计是指依靠设计者的经验对设计方案进行反复修改, 并通过风洞试验进行验证以使其达到指定的设计要求, 从而最终确定设计方案, 即所谓的工程试凑法。早期的飞机设计均采用这种方法。该方法费时费力, 设计过程中需要进行大量的风洞试验, 使得飞机的研制周期较长, 研制成本也比较高。

随着计算机技术的迅速发展, CFD

*国家“863”计划项目课题资助 (SQ2009AA01XK1483550)

这一学科分支应运而生并逐渐走向成熟。它从最初的无粘流线化方程、跨音速小扰动速势方程和全速势方程的求解发展到利用Euler方程或N-S方程进行绕流计算,再到目前正在不断发展的大涡模拟方法(LES)和直接数值模拟(DNS)方法,为气动设计提供了较为可靠的分析依据,同时也使借助数值方法进行气动设计得到快速发展,并逐渐成为气动设计技术的主流。这一将CFD方法作为主要的设计手段开展飞机气动设计的方法,称为基于CFD的气动优化设计方法。

基于CFD的气动优化设计大体可分为反设计和数值优化设计。反设计是指在给定目标状态(目标压力分布或速度分布)的条件下,通过流场迭代和几何外形的自动修改,逐渐逼近给定的目标状态。这一方法在目标状态已知的情况下能够获得比较满意的结果,但是在设计者缺乏设计经验的情况下就显得力不从心,同时这一方法也难以应用到多目标多约束的优化设计中。数值优化设计是将CFD与优化设计算法结合,通过不断迭代搜索,最终得到在满足一定约束条件下的最优几何外形。这种方法克服了反设计方法中对设计者的苛刻要求,省时省力,能够自动获得最终优化结果。近十几年来,数值优化设计获得了研究者的广泛关注,并得到了极大发展。根据采用的优化算法的不同,数值优化设计方法分为梯度优化设计方法和非梯度优化设计方法。

基于梯度的优化搜索算法需要求出目标函数对各设计变量的梯度。优化过程是根据所得到的梯度确定搜寻方向,在搜寻方向上获得目标函数的极大值或极小值之后,重复这个过程,直到满足一定的设计要求。此方法成功的关键在于如何高效准确地计算

出目标函数对设计变量的导数值(即梯度),目前已经出现了有限差分和复变量等方法,而更具影响的方法是A. Jameson在20世纪80年代提出的基于控制理论的优化设计方法。该方法解决了传统基于梯度优化方法中存在的计算量随设计变量增加的问题,因此对于设计变量数较多的优化设计问题能够满足实际需要。

非梯度优化设计方法主要有遗传算法(GA)、模拟退火(Simulated Annealing)、蚁群算法等。这些算法的共同特点是不要求目标函数对各设计变量的梯度,全局性比较好,易于找到给定问题的全局最优解。但是这些算法往往需要进行大量的目标函数计算,使得进行一次优化设计的时间特别长,为此研究者将各种代理模型(多项式响应面、Kriging模型、人工神经网络等)引入到优化设计中,形成了基于近似技术的优化设计方法。

基于CFD的气动优化设计方法的一个共同特点就是必须借助于CFD的应用,这些方法与CFD的关系是相互依赖、相互依存、相辅相成的。CFD计算的效率和精确性的提高可以促进气动优化设计的发展,更加科学高效地获得满意的设计结果,提高了飞机设计的效率,缩短了飞机研制周期,同时也降低了研发的成本。而优化设计的发展反过来也要求CFD自身发展满足其需要,为设计出气动性能更好的飞机奠定基础。

目前,国内外针对这些方法均已开展了相关的研究,有些甚至已经应用于实际的工程设计并发挥了很好的作用。下面针对基于CFD的气动优化设计方法提出其对CFD发展的需求,从而为今后CFD和气动优化设计的发展提供一些参考。

2 气动优化设计对CFD的需求

目前,CFD已经为气动优化设计提供了很大的便利,相当程度上促进了气动优化设计技术的发展,但是它仍然存在一些问题亟待解决。

1) 需要CFD求解问题时具有较高的效率

随着计算机技术的不断发展,基于CFD的优化方法相对于传统优化方法来说,所用的时间在逐渐缩短。但是,随着优化对象越来越复杂,从简单的二维翼型到三维全机复杂几何外形,计算的代价也在成倍地增长,从而也限制了这种优化设计方法的发展。相对来说,目前对于翼型和翼身组合体的计算,花费的时间还较少,但针对更为复杂的翼身组合体带吊舱或全机复杂几何外形,基于N-S的计算一次就非常耗时,而通常在优化设计中,需要进行成百上千次这样的数值模拟,导致优化设计在复杂的实际工程设计中不是很实用。要将CFD应用于实际的全机复杂几何外形的设计,就需要提高其对这些构型求解的效率。

2) 需要CFD具有较高的精确性

目前针对各类求解问题,CFD出现了不同的计算程序和软件。这些程序能够在一定程度上给出求解问题的精度。但是在气动优化设计中,不仅要求CFD程序能够给出待求解问题的解,还要求这一结果必须是精确可靠的。这是因为,如果计算结果本身不可靠,对基于梯度的优化设计方法来说,很可能对搜索方向造成影响,从而影响到最终的优化解;即使采用非梯度优化设计方法,由于计算程序本身的不可靠也可能导致得到的优化解不是最终的最优解。

3) 需要CFD具有较强的鲁棒性

目前气动优化设计主要针对的是翼型和翼身组合体,而真正的全机优化

航空发动机尾喷流微喷降噪技术研究进展*

Research Progress on Aeroengine Jet Noise Reduction by Microjet

徐悦 / 中国航空研究院航空数值模拟技术研究应用中心

摘要: 微喷降噪技术是最具潜力的航空发动机尾喷流气动噪声主动控制技术之一。本文回顾了采用微喷流进行航空发动机尾喷流降噪的国内外研究进展, 阐述了微喷降噪技术的未来发展趋势。

关键词: 航空发动机; 尾喷流; 噪声控制; 微喷流

Keywords: aeroengine; jet; noise suppression; microjet

0 引言

尾喷流气动噪声是航空发动机最主要的噪声源之一, 尤其是在飞机起飞和降落过程中, 尾喷流噪声是影响飞机适航性和舱内舒适性的关键因素。目前, 喷流噪声抑制技术的研究已经取得了较大的进展。如在发动机尾缘处采用chevron型喷口等已成功应用于空客A380和波音787飞机的设计中。但此类被动控制技术存在一个突出的缺点, 即当尾喷流噪声不是主要噪声源(如巡航

状态)时, 特殊的喷口型面会产生推力损失, 从而降低发动机的工作性能。微喷降噪技术是近年来逐渐得到重视的喷流噪声主动控制技术, 它是使微喷流和发动机尾气发生强烈的耦合作用, 使射流波系, 尤其是湍流混合区结构发生显著变化, 从而改变噪声场特性, 达到降噪的目的, 微喷降噪系统的示意图见图1。相对于被动控制技术, 微喷降噪技术的优势是能够灵活控制微喷流的施加时机, 避免不必要的发动机性能下降。

1 国外研究发展历程

在过去50年中, 为了有效抑制尾喷流气动噪声源, 各国研究人员开展了大量微喷降噪的研究工作。在喷流气动噪声的早期研究中, 由于微喷降噪能够迅速降低喷流的速度和温度, 并能够改变喷流速度场的分布, 因此很快就展现出强大的吸引力。按时间顺序, 微喷降噪研究可分为如下三个发展阶段:

1.1 20世纪50~60年代

1952~1960年, 微喷降噪技术处于

还很难达到, 除了前面提到的计算时间的问题外, 还有一个重要的原因就是CFD的鲁棒性。鲁棒性要求CFD对任何构型都能够给出满意的结果, 包括复杂外形的网格生成和计算两个方面。目前来看, 针对翼型和翼身组合体的计算程序和软件发展得相对比较成熟, 但是针对全机构型特别是三维增升装置, CFD还很难准确给出自动的网格生成和流场求解, 以及给出准确的气动力计算结果, 因此完善CFD的鲁棒性也是今后CFD发展的一个重要方向。

一些情况, 并简要说明了其与CFD的关系, 最后提出了气动优化设计对CFD的需求, 即需要CFD求解问题时具有较高的效率、具有较高的精确性、具有较强的鲁棒性, 为今后CFD和气动优化设计的发展提供一些参考。

AST

参考文献

- [1] 方宝瑞主编. 飞机气动布局设计[M]. 北京: 航空工业出版社.
- [2] F.T.Johnson, E.N.Tinoco, N.J.Yu. Thirty years of development and application of CFD at Boeing commercial airplanes [R]. AIAA, 2003-3439.
- [3] Song Wenping, Xu Ruifei, Han

Zhonghua. Study on the improved Kriging-based optimization method for aerodynamic design [C]. 27th Congress of the International Council of the Aeronautical sciences Nice France, September 2010.

[4] 熊俊涛, 乔志德, 韩忠华. 基于响应面法的跨声速机翼气动优化设计[J]. 航空学报, 2006, 27(3).

[5] 许瑞飞. 基于近似技术的翼型气动优化设计方法研究[D]. 西北工业大学硕士论文, 2010.

作者简介:

许瑞飞, 助理工程师, 主要从事气动力计算和设计的相关技术研究。

3 结论

本文简述了气动优化设计发展的